

La fisica del XX secolo

ovvero

*la tecnologia consente di eseguire esperimenti sempre più spinti e ...
... tutto deve essere messo in discussione*

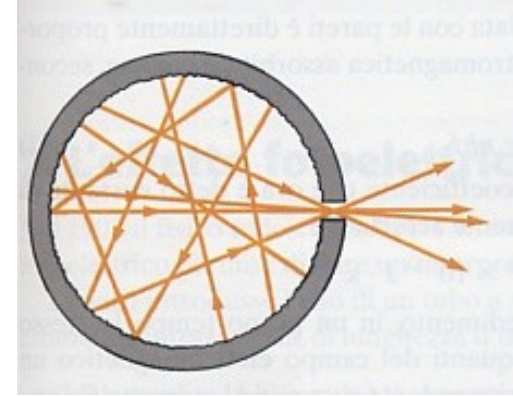
The fundamental cause of the trouble is that in the modern world the stupid are
cocksure while the intelligent are full of doubt.

(Bertrand Russell The Triumph of Stupidity, 1933-05-10)

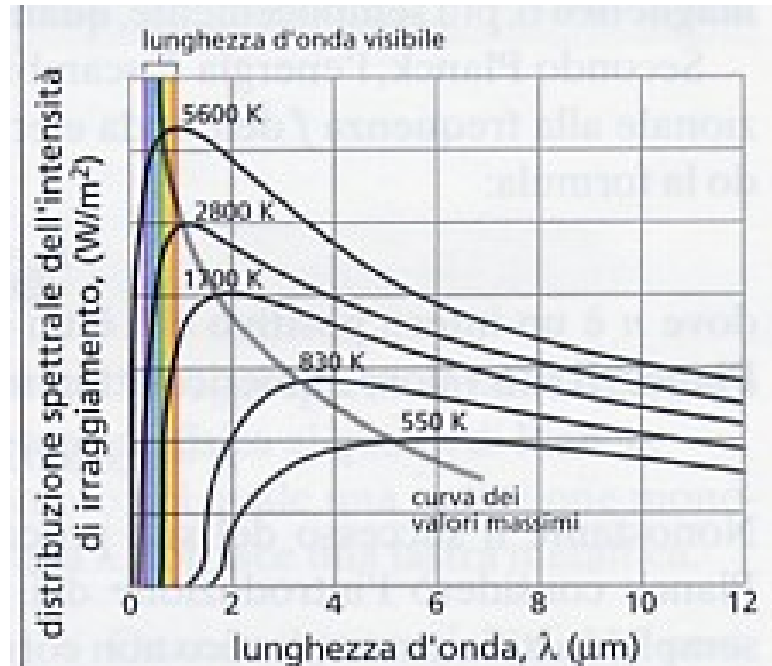
La causa principale dei problemi è che al mondo d'oggi gli stupidi sono strasicuri,
mentre gli intelligenti sono pieni di dubbi.

Il corpo nero e l'ipotesi dei quanti di luce

- Si chiama **corpo nero** un oggetto macroscopico che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica che lo colpisce. In laboratorio un corpo nero si realizza mediante una cavità, le cui pareti sono mantenute a temperatura uniforme e costante. Le pareti assorbono e riemettono radiazioni elettromagnetiche di tutte le lunghezze d'onda.
- La distribuzione dell'energia della radiazione di corpo nero non dipende dal materiale di cui è fatto ma solo dalla temperatura delle pareti**



- La distribuzione dell'energia della radiazione si chiama **spettro di corpo nero**
- Per basse temperature il corpo emette prevalentemente radiazione infrarossa e microonde, quindi al buio appare nero
- A temperatura maggiore emette anche luce visibile ed appare l'incandescenza



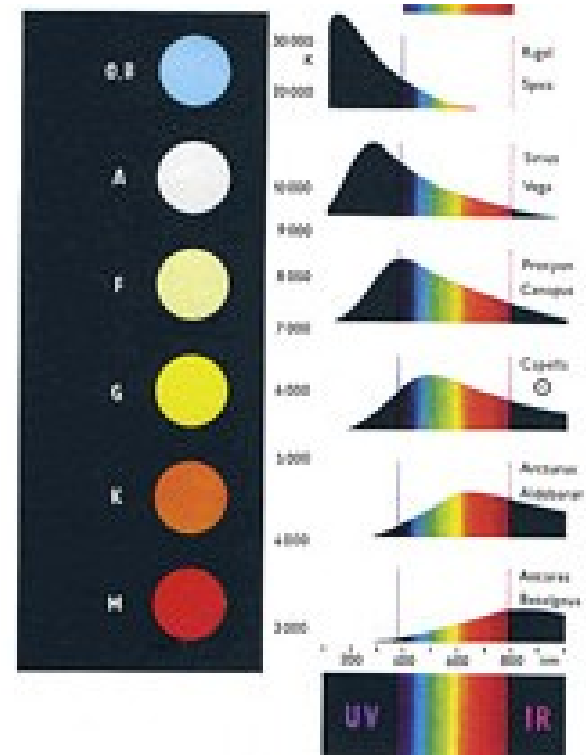
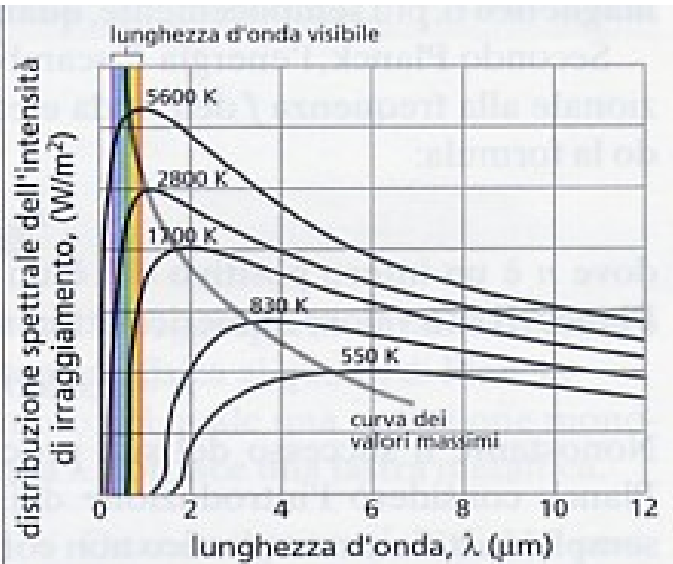
Legge dello spostamento di Wien

Al crescere della temperatura dell'emettitore la lunghezza d'onda a cui corrisponde il massimo della curva si sposta verso lunghezze d'onda minori

$$\lambda_{\max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} m \cdot K}{T}$$



*Wilhelm Wien
(1864–1928)
Nobel nel 1911*

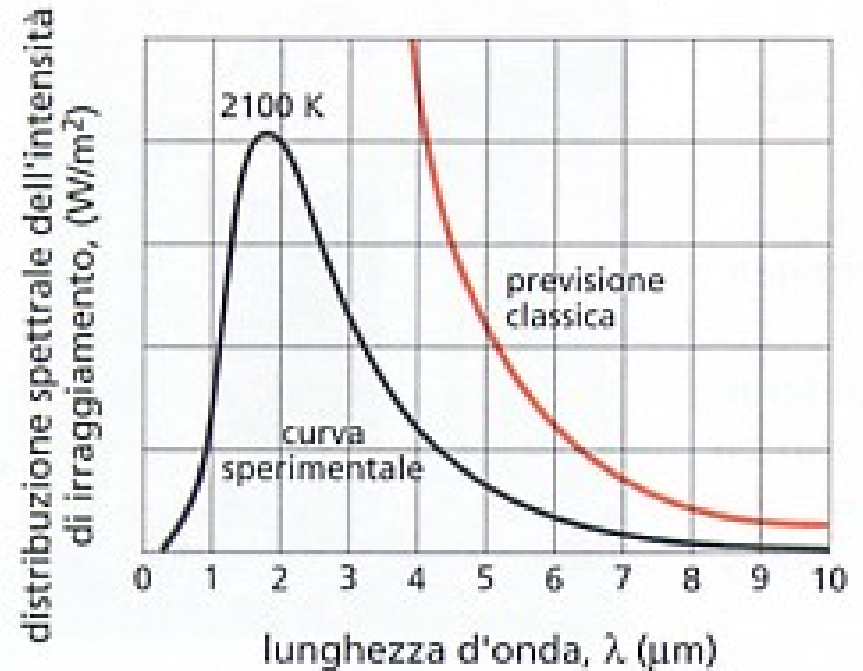


CLASSE SPETTRALE	COLORE	TEMPERATURA IN °K
O	Azzurro	da 60.000 a 30.000
B	Bianco-azzurro	da 30.000 a 10.000
A	Bianco	da 10.000 a 7.500
F	Giallo-paglierino	da 7.500 a 6.000
G	Giallo	da 6.000 a 5.000
K	Arancione	da 5.000 a 3.000
M	Rosso	meno di 3000

Qiale modello?

La teoria classica prevede che il corpo nero dovrebbe emettere una quantità di energia infinita al diminuire della lunghezza d'onda, già sulle lunghezze d'onda dell'ultravioletto.

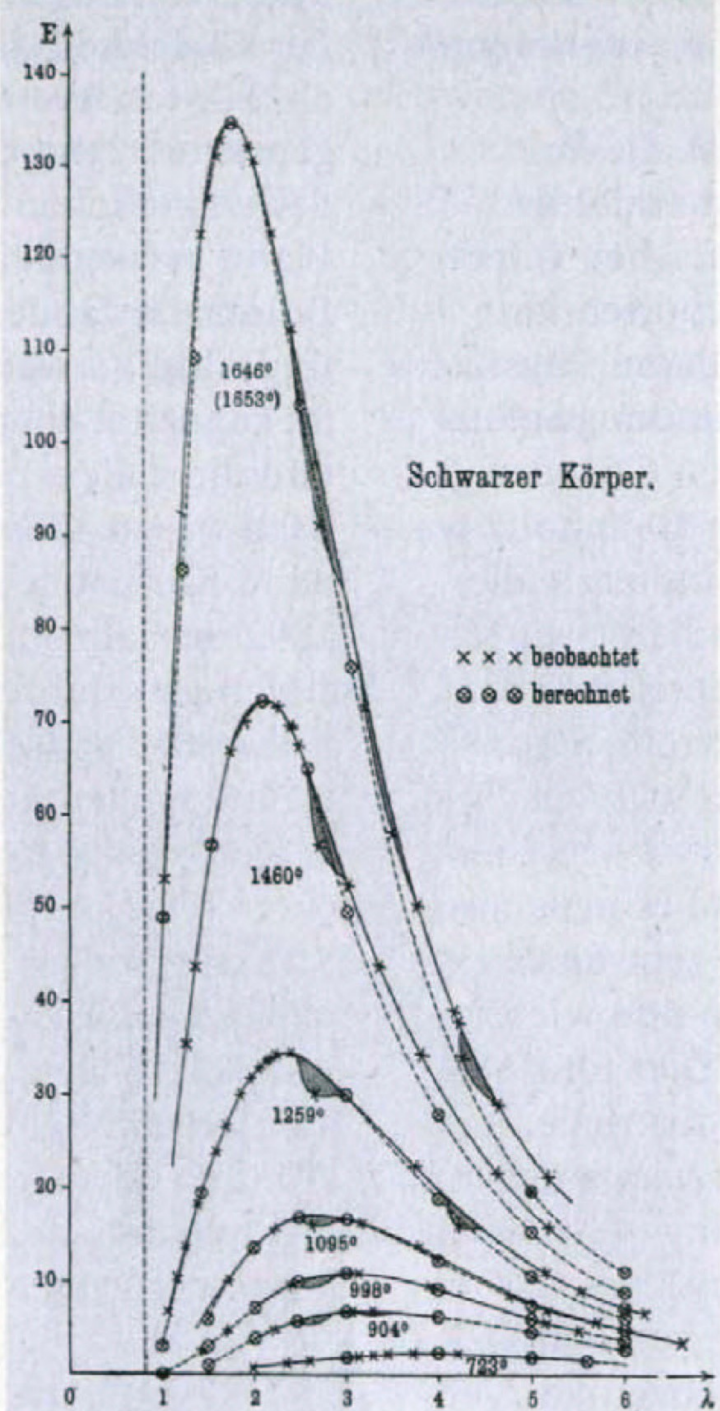
Si parla di *catastrofe ultravioletta* ...





Max Planck (1857–1947)
Nobel nel 1918

Il 14 dicembre del 1900, Max Planck annuncia di aver trovato una formula che riproduce i valori osservati nello spettro del corpo nero



Il modello dei quanti di Planck

L'interazione fra radiazione e materia avviene per scambio di *pacchetti* discreti di energia, detti **quanti** o **fotoni**.

La luce di frequenza f può essere considerata come un insieme di pacchetti di energia, i **fotoni**, ciascuno dei quali porta un'energia hf .

frequenza

$$E = nhf$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

costante di Planck

Curiosità matematica?

- ⊙ la fisica classica descrive l'emissione di radiazione di corpo nero mediante la **legge di Rayleigh-Jeans**
- ⊙ Calcolando il limite per f che tende a valori sempre più grandi...si ottiene infinito
- ⊙ La legge di Planck contiene un termine correttivo che mette a posto quel limite infinito ma ... cambia la faccia della fisica e non solo ...
- ⊙ ... da qui partono il dualismo onda-particella, la perdita di certezze, la frammentazione dell'io e della forma che caratterizzano la letteratura, l'arte e il pensiero filosofico del primo novecento

$$R(f, T) = \frac{2\pi f^2}{c^2} \frac{1}{2} kT$$

Legge di Planck:

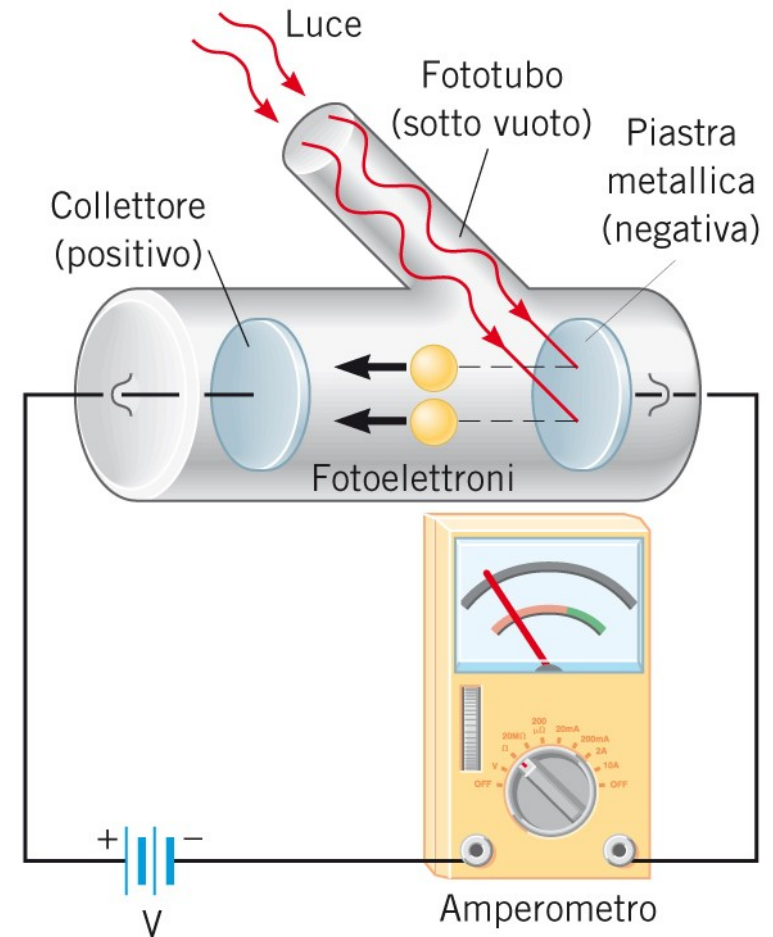
$$R(f, T) = \frac{2\pi}{c^2} \frac{hf^3}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}$$

La conferma del modello dei quanti di luce: l'effetto fotoelettrico

- Esperimento eseguito da Lenard nel 1902
- Interpretazione di Einstein nel 1905

L'effetto fotoelettrico è un'evidenza sperimentale del fatto che la luce è costituita da **fotoni**. **Le sue caratteristiche sono:**

- ▶ Aumentando l'intensità della radiazione incidente il numero di fotoelettroni emessi rimane costante
- ▶ L'energia cinetica massima dei fotoelettroni aumenta all'aumentare della frequenza
- ▶ L'energia cinetica massima dei fotoelettroni non aumenta all'aumentare dell'intensità della radiazione incidente
- ▶ Si ha emissione di fotoelettroni soltanto se la frequenza della radiazione incidente è maggiore di un valore minimo f_0 che dipende dal metallo e che si chiama **frequenza di soglia del metallo**



Solo con l'ipotesi della radiazione quantizzata (fatta di fotoni) si può spiegare l'effetto fotoelettrico

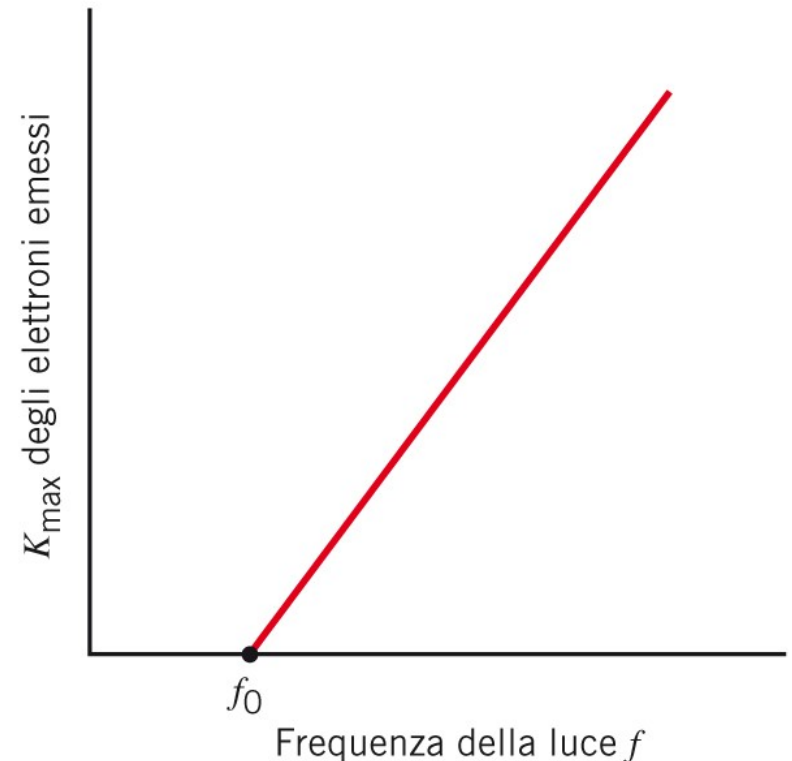
hf è l'energia trasportata da ogni fotone (eV oppure joule)

W_0 è il **lavoro di estrazione** e dipende dal metallo utilizzato (eV oppure joule).

K_{\max} è l'energia cinetica massima dell'elettrone emesso (eV oppure joule)

f_0 è la frequenza di soglia per l'emissione ((Hertz))

$$K_{\max} = hf - W_0$$



Esempio: calcolo della frequenza di soglia

Il lavoro di estrazione dell'argento è $W_0 = 4,73 \text{ eV}$.

Determina la frequenza minima che la luce deve possedere per estrarre elettroni dalla sua superficie.

$$hf_0 = \underbrace{K_{\max}}_{= 0 \text{ J}} + W_0$$

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{(4,73 \text{ eV}) \cdot (1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV})}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 1,14 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Ci vuole luce ultravioletta per avere fotoelettroni.

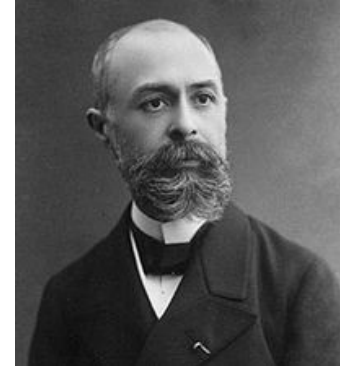
Ripetendo il calcolo per il sodio (2,28 eV) o per il potassio (2,25 eV) si ottiene la frequenza della luce visibile.



Uno strumento per sondare l'atomo

LA RADIOATTIVITÀ

della pechblenda



Henri Becquerel
(1852–1908)

Nobel per la Fisica 1903

Maria Curie Skłodowska

(1867–1934)

Nobel per la Fisica 1903

Nobel per la Chimica 1911

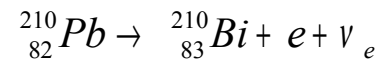
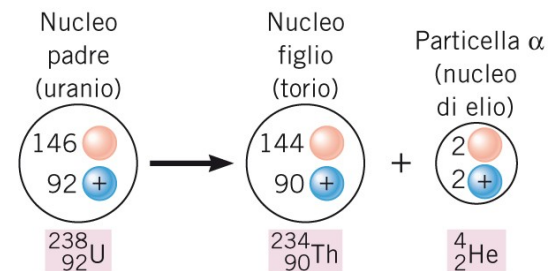
☉ I nuclei che decadono spontaneamente sono detti **radioattivi**

☉ Tre tipi di decadimento

▶ Nel **decadimento alfa** la trasformazione del nucleo è accompagnata dall'emissione di una particella alfa

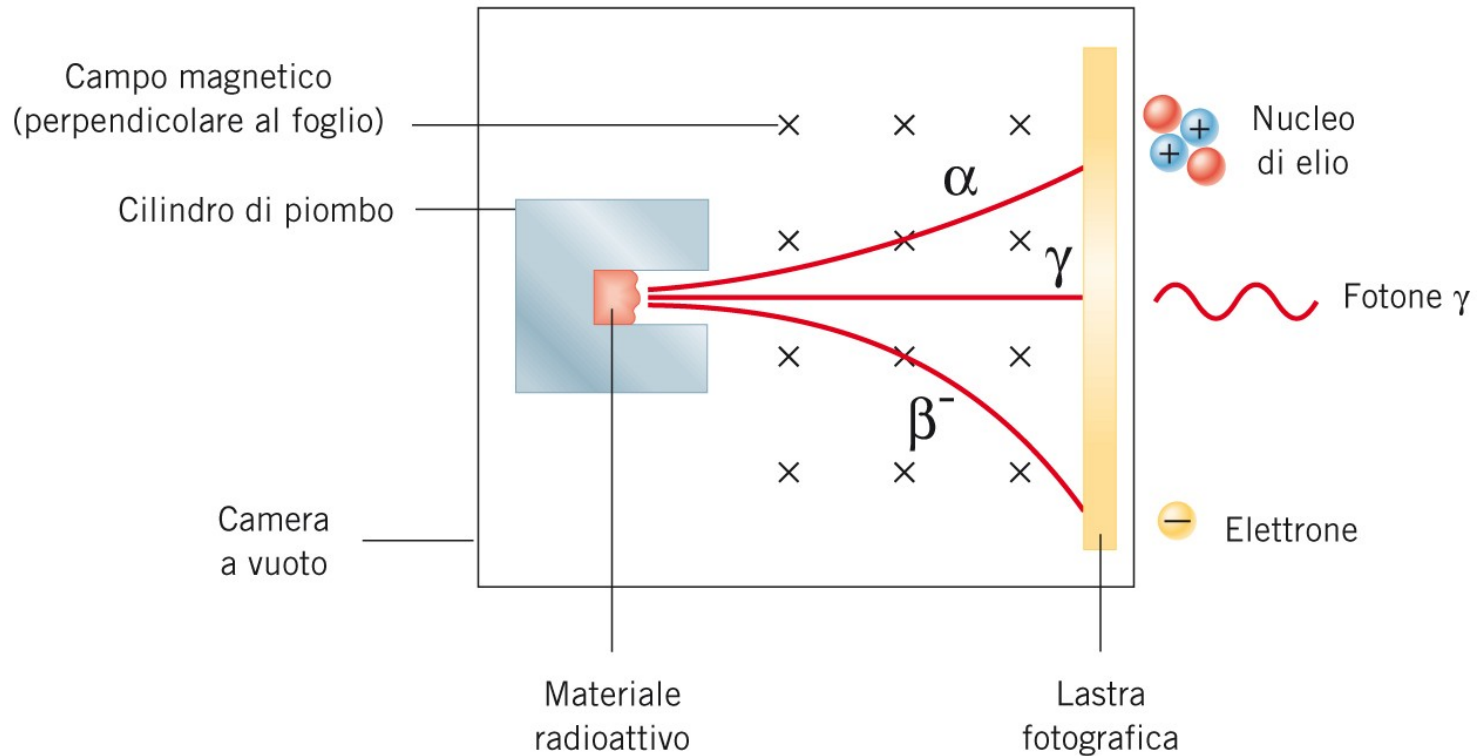
▶ Nel **decadimento beta** la trasformazione del nucleo è accompagnata dall'emissione di un elettrone (beta -) o di un positrone (beta+) o dalla cattura di un elettrone

▶ Nel **decadimento gamma** il nucleo figlio viene prodotto in uno stato eccitato ed emette un fotone gamma



La radioattività: decadimento alfa, beta e gamma

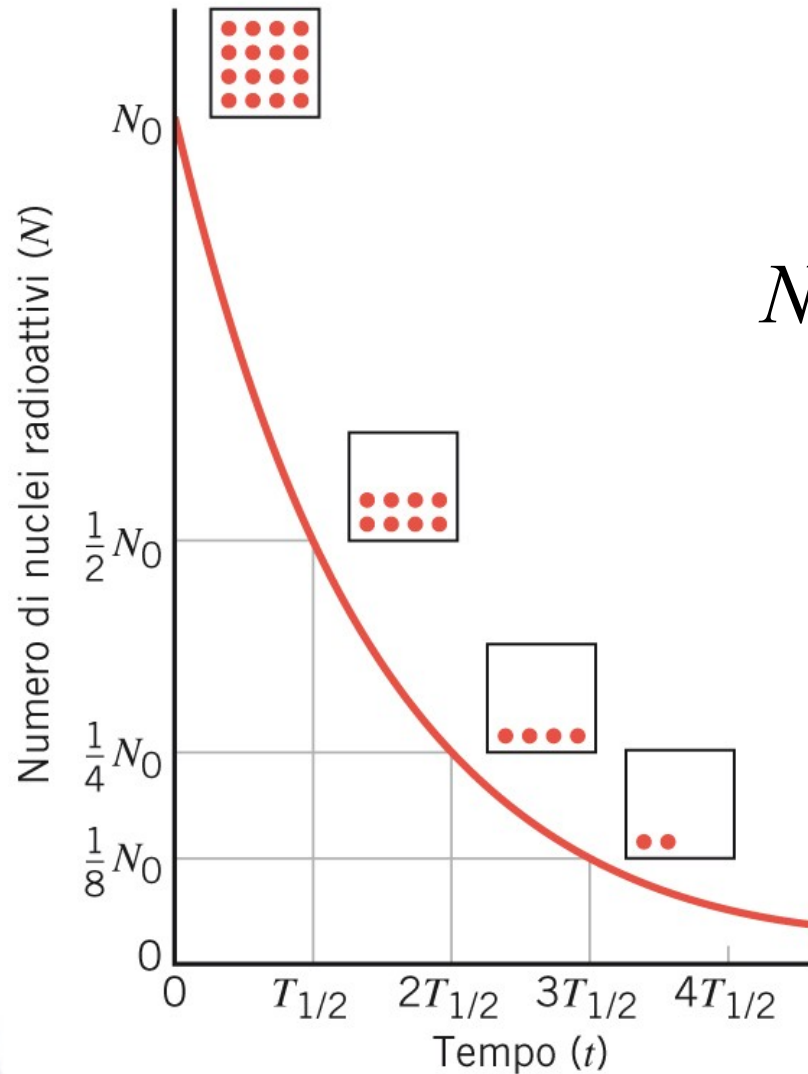
Usando la **forza di Lorentz** si vede che i raggi α e β consistono di particelle cariche, invece i raggi γ sono neutri.



Decadimento radioattivo e attività

Si definisce il **tempo di dimezzamento** $T_{1/2}$ di un isotopo radioattivo come il tempo necessario affinché la metà dei nuclei presenti decadano. La legge di decadimento, è la seguente:

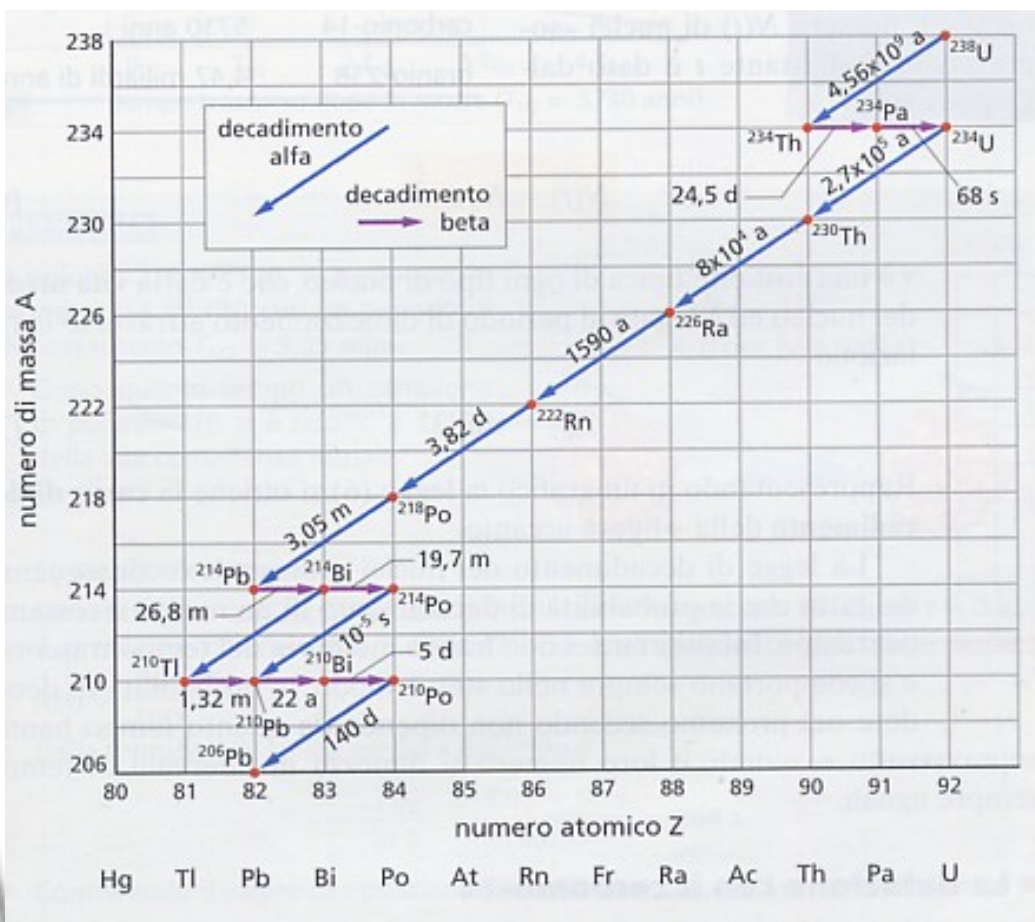
$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{con} \quad T_{1/2} = \tau \ln 2$$



Esempi:

- Polonio 214 (0,164s)
- Ossigeno 15 (2 min)
- Uranio 239 (23,5 min)
- Iodio 131 (8 giorni)
- Cobalto 60 (5,3 anni)
- Radio 226 (1620 anni)
- Carbonio 14 (5730 anni)
- Plutonio 239 (24110 anni)
- Uranio 238 (4,5 miliardi di anni)

In natura esistono tre **famiglie radioattive** nelle quali si verifica la generazione di elementi radioattivi in seguito ai decadimenti alfa e beta di altri elementi radioattivi e questo per un certo numero di generazioni fino a giungere ad un nucleo stabile. Queste famiglie radioattive sono indicate con il nome dei loro capostipiti: la famiglia dell'uranio (**U**) del torio (**Th**) e la famiglia dell'attinio (**Ac**). La famiglia dell'uranio è rappresentata nella figura:



Nella figura ogni nucleo è indicato riportando in ascisse il suo numero atomico Z e in ordinata il suo numero di massa A. I decadimenti alfa sono rappresentati da segmenti obliqui che scendono di quattro unità in verticale e si spostano di due unità verso sinistra, i decadimenti beta da segmenti orizzontali che vanno da sinistra verso destra e sono lunghi una unità. Accanto a ognuno dei segmenti è indicato il periodo di dimezzamento: a, anno; d, giorno; m, minuto; s, secondo

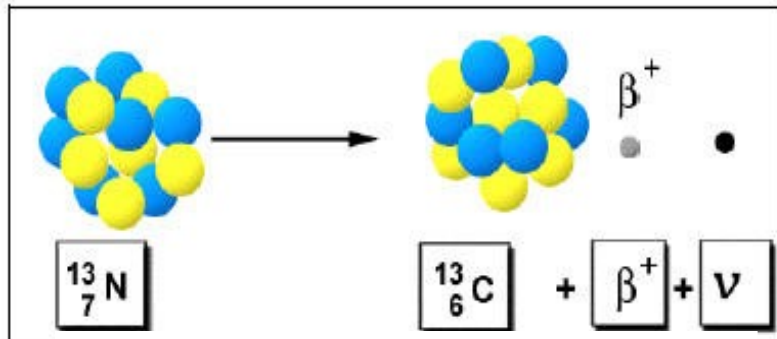
APPROFONDIMENTO

Le famiglie radioattive hanno origine da un elemento a vita media lunghissima e terminano con un elemento stabile..Oltre alla famiglia dell'uranio :

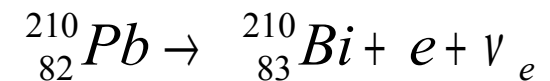
- **la famiglia del torio**, che inizia con il torio 232 (avente un periodo di dimezzamento lunghissimo quasi 14 miliardi di anni), comprende 13 nuclidi e termina con il piombo 208;
- **la famiglia dell'attinio**, che inizia con l'uranio 235, il quale ha un periodo di dimezzamento di 710 milioni di anni, comprende 17 elementi e termina con il piombo 207. Secondo alcuni studiosi i capostipiti delle tre famiglie non sarebbero in realtà quelli menzionati, bensì altri elementi di elevata radioattività (piccolo periodo di dimezzamento), i quali attualmente non si troverebbero più sulla Terra. E' interessante osservare che, attraverso la valutazione della quantità di isotopi di piombo contenute nei minerali di uranio e di torio, è possibile stabilire l'età di tali minerali e, di conseguenza, l'età della Terra stessa.

Approfondimento sul decadimento β :

- tre tipi di decadimento;
- il numero di massa si conserva
- il numero atomico cambia

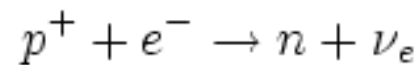


Decadimento β^+ dell'isotopo dell'azoto



Decadimento β^- dell'isotopo del piombo

Il terzo tipo di decadimento beta è la cattura elettronica: accade quando un nucleo assorbe uno degli elettroni orbitanti e un protone del nucleo si trasforma in un neutrone



Esempi:

